

# NV center i Diamant som framtida media för långtidslagring av stora informationsmängder.

Av: Jan Asplund

Handledare: Proscovia Svärd

Södertörns Högskola | Institutionen för Historia och samtidsstudier

B-uppsats 7,5 hp

Arkivvetenskap B | VT 2017



**SÖDERTÖRNS HÖGSKOLA** | STOCKHOLM  
sh.se

Arkivvetenskap

Södertörns högskola

141 89 Huddinge

© Jan Asplund 2017

## Abstract

For the last decades there have been many projects focusing on the challenges of long term storage of the large amounts of digital information generated in the modern society. There is an increasing demand for media suitable for long term storage of information and several research projects are working with various methods and technologies for storage of information for various purposes. The research area focused on using NV centers in Typ Ib diamonds have presented progress and there are a technique for both writing and reading information stored by the manipulation of NV centers by the use of red and green lasers. The technique works but shows a few weaknesses such as the NV centers are changing charge after the information having been scanned and read multiple times and that by today's standards the writing process taking one millisecond per pixel is relatively slow. Research is going on and other types of lasers have shown to be faster for writing but increasing the changing of NV centers. It is possible the technique will be used in the future but there is more research needed.

# Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Syfte och frågeställningar	3
1.2 Definitioner av begrepp och terminologi	4
1.3 Metod och Källmaterial	5
1.4 Tidigare forskning	6
2 Undersökning	
2.1 Diamantens kemi och struktur	9
2.2 Ljus	11
2.3 Hur information lagras i diamant	12
2.4 Diamant som lagringsmedia för överskrivningsbar information	13
2.5 Hur informationen avläses	14
2.6 Problem och brister med tekniken	15
3 Avslutande diskussion	16
3.1 Sammanfattning	18
Käll- och litteraturförteckning	19

# 1 Inledning

Andelen information som genereras gör det till allt större andel i elektroniska format samtidigt som den totala informationsgenereringen ökar. Utmaningarna när det gäller långtidsbevarande har diskuterats länge i arkivkretsar (Bearman 1994; Quisbert m fl 2013) och det har utformats riktlinjer, ramar och standarder för bevarande på längre sikt. Planerandet inbegriper olika praktiska bevarandemetoder och en av utmaningarna är att format åldras. Arkivorganisationen TAM använder benämningen "halveringstid" för filformats livstid, och filformat riskerar bli oläsbara om inte ny teknik anpassas efter gammal eller att gammal hårdvara bevaras (TAM 5:2010). Något som i längre perspektiv inte är realistiskt om åtkomstsäkerheten ska kunna garanteras.

Den totala mängden information beräknas år 2020 uppgå till 44 trillioner gigabytes och år 2040 kommer enligt samma beräkningar mängden information kräva någonstans mellan 10-100 gånger mer kisel, det grundämne som används för tillverkning av majoriteten av alla typer av minneskort, än tillgången på kisel av de kvaliteter som behövs. Det finns alltså inte någon möjlighet att med den teknik och de material som används idag bevara all den information som genereras (Extance 2016).

En annan utmaning än åldrande filformat är alltså att hitta nya medier för att lagra information på både kort och lång sikt. Det har sedan närmare 30 år pågått olika projekt och forskning kring hur digital information ska säkras för framtiden. Pittsburghprojektet diskuterade frågor kring långtidslagring av digital information vilken skapas eller används överförd i nätverk mellan datorer i slutet av 1980-talet (Bearman 1994; School of Information Sciences 2002). InterPARES har pågått sedan 1999 och består av tre delar vilka diskuterar och tar fram riktlinjer för bevarande av digital information (Duranti u.å.). Bland nationella projekt kan nämnas TEAM Norway och LongRec som pågick mellan 2007-2009 (LongRec 2010). Networked European Deposit Library, NEDLIB, var ett projekt inom Community Research and Development Information Service, CORDIS, mellan åren 1998-2000 (CORDIS u.å.). Ingen enkel lösning har ännu presenterats men gemensamt för projekten är att de tydliggör att långtidsbevarande handlar dels om hur filer och format hålls åtkomliga och läsbara för framtida hård och mjukvara och dels om vilka lagringsmedier som är att föredra, digital information skapas och sparas idag till största delen på medier som har kort livslängd jämfört med traditionella media som papper och mikrofilm. Tabellen nedan visar förväntad genomsnittlig levnadsålder för ett antal vanliga lagringsmedia.

Floppy Disk	10-20 år
Magnet och kassetband	10-30 år
CD och DVD	2-10 år
Blue-Ray	10-15 år
Magneto Optical diskar	50 år
Hårddisk	3-6 år
USB minnen	5-10< år

Medellivslängd för några olika digitala media. Bild från (Ascent 2014 s 8)

En anknytande utmaning till diskussioner om format och lagringsmedia är frågan om vem eller vilka som ska bära ansvar för långtidsbevarandet av digital information (Samuelsson m.fl. uå) särskilt sådan som uppstår utan tydliga sammanhang eller är integrerad hos olika upphovsmakare och användare (Asproth 2007). Även bristen på ett ”information continuum” har poängterats i samband med diskussioner kring definitioner av informationsbevarande objekt (Quisbert m fl 2013).

Det är forskning kring media för långtidsbevarande som främst intresserar mig eftersom det är viktigt att hitta lagringsmedia som inte hela tiden behöver aktiv förvaltning för att säkra informationen i hundra eller tusenåriga tidsperspektiv och denna uppsats undersöker djupare ett exempel på forskning kring just lagringsmedia för stora informationsvolymmer under lång tid.

De alternativ till traditionella lagringsmedia (papper, mikrofilm, optiska diskar, magnetband, minneskort, hårddiskar) som forskning kommit längst kring är lagring av information i kristallstrukturen hos diamant och information som skrivs i form av syntetiskt DNA. Dessa två metoder är de intressantaste sett ur arkivvetenskapligt perspektiv då forskningen kring dem även har långtidsbevarande som uttalad målsättning (Dhomkar m fl 2016, Grass m fl 2015). Båda metoderna är relativt nya och kunskap och dokumentation kring dem är begränsad men möjligheten att lagra information i konstgjort DNA används redan praktiskt i kommersiell verksamhet. Inom ädelstensbranschen har efterfrågan på metoder att geografiskt kunna ursprungs bestämma ädelstenar ökat markant senaste årtiondena. I början av 2017 lanserade Gubelin i Schweiz en metod att plantera in konstgjort DNA i smaragd 2 detta konstgjorda DNA lagras information om vilken gruva stenen kommer från, vem som hittat den och datum. Informationen lagras i kiselsfärer som är ca 100 nanometer stora vilka

planteras in i stor mängd i sprickor och håligheter i smaragden. Mängden sfärer är så stor att kommande slipning, tvätt eller efterbehandlingar av olika slag aldrig kommer medföra att alla sfärer försvinner. Storleken är så liten att de heller inte har någon påverkan på smaragdens utseende (Gubelin). Information lagrad som syntetiskt DNA har alltså redan kommersiell användning medan forskningen kring lagring av information i diamant fortfarande väntar på genombrott innan efterfrågan och marknadskrafter kan ta vid och driva utvecklingen. Även om syntetiskt DNA till synes kommer fungera som media för långtidslagring är det ändå viktigt att inte sluta intressera sig för andra alternativ, dels för att det kan visa sig efter en tid att tekniken inte alls fungerar och även för att olika typer av information används och behöver åtkommas på olika vis och med olika syften vilket kan göra att ett medium kan vara att föredra framför ett annat. Det är även ofta effektivt för att pressa kostnader om det finns flera fungerande metoder som konkurrerar med varandra.

## 1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med denna uppsats är att undersöka hur forskningen kring att lagra information i kontrollerade defekter i atomstrukturen hos diamant ser ut och om den kan komma att bli relevant ur arkivperspektiv.

Frågeställningar:

Hur ser forskningen ut kring lagring av information i kontrollerade defekter i strukturen hos diamant?

Kan tekniken vara relevant för långtidsbevarande av information?

Hur fungerar tekniken praktiskt?

Den föreliggande undersökningen går ytligt igenom forskningsläget kring informationsbärare och bevarande och lägger sedan fokus på forskning kring hur kontroll av defekten NV center i diamant som lagringsmedia ser ut. Undersökningen nämner vilka drivkrafter som ligger bakom forskningen och vilken typ av utrustning som kommer att behövas för att skriva och läsa informationen och om det redan nu går att förutspå kostnader och eventuella andra praktiska förutsättningar. Undersökningen kommer gå in på hur datalagringen går till rent tekniskt i diamanter och hur den är tänkt att kunna läsas tillsammans med bakgrundsbeskrivningar till varför just dessa metoder och material är intressanta.

## 1.2 Definitioner av begrepp och terminologi.

Ämnet för föreliggande arbete kräver ett tekniskt språkbruk och flera begrepp kan läsaren behöva få förklarade för sig för kunna ta till sig arbetet. Nedan följer en kortare ord och begreppslista.

Atom – materiepartikel, den minsta del av ett grundämne som har detta grundämnets kemiska egenskaper.

Diamant – Mineral med kemisk sammansättning C, kol.

Diamanttyp – Diamanter delas in i olika typer beroende på förekomst av spår av andra grundämnen än C vilka förekommer som föroreningar i strukturen. Förståelse av diamanttyp är grundläggande för all forskning som inbegriper diamant som material. Elektronik, optik, medicin, skär och borr teknik såväl som gruv- och ädelstensrelaterad forskning grundar sig i förståelsen av diamanttyper då olika typer har olika egenskaper gällande t ex färger, värme och elledningsförmåga (Deák m fl 2013; Dhomkar m fl 2016).

Elektron – En av byggstenarna i atomen och har en negativ laddning. Den minsta elementarpartikel som observerats i fritt tillstånd.

Jon – en atom som upptagit eller avgivit en eller flera elektroner.

Kisel – grundämne med kemisk beteckning Si.

Kväve – grundämne med kemisk beteckning N, Vanligt som förorening hos diamant.

Molekyl – Två eller flera atomer som sitter tillsammans. Ett ämnes minsta beståndsdel.

NV-center – en kväveatom placerad i strukturen hos diamant intill vakans, alltså plats i strukturen där det saknas en kolatom.

Syntetisk – konstgjort material som är kopia på naturligt förekommande ämne.

Valensband – Det yttersta, eller högsta, energibandet med elektroner hos en atom.

(Källa där annat ej anges: Nationalencyklopedin 1989-1996)



## 1.3 Metod och Källmaterial

Undersökningsmetoden i detta arbete är en kvalitativ dokumentanalys i syfte att få en djupare förståelse och insikt i ämnet där frågeställningarna är formulerade direkt kring hur forskning och teknik ser ut. Dokument och dokumentanalys definieras av Altheide enligt följande:

A document can be defined as any symbolic representation that can be recorded or retrieved for analysis. Document analysis refers to an integrated and conceptually informed method, procedure, and technique for locating, identifying, retrieving, and analyzing documents for their relevance, significance, and meaning (citat efter Simonsson m fl 1998 s 65).

Den kvalitativa metoden dokumentanalys är en sammanfattande benämning för att samla in, tolka och bearbeta texter (Simonsson m fl 1998 s 65). Metoden går ut på att läsa och tolka innehållet i dokument på samma vis som man använder t ex transkriberade intervjuer (UCSD uå). För att uppfylla kraven på en kvalitativ dokumentanalys så måste flera källor kunna ställas mot varandra eller jämföras genom recensering och värdering (Bowen 2009). Detta uppfylls genom att sätta ämnet i ett arkivvetenskapligt sammanhang där tidigare forskning och utredningar belyser brister i nuvarande metoder för att säkra långtidsbevaring av stora informationsmängder och därmed behov av nya tekniker.

Forskningsområdet som beskrivs i detta arbete är litet och få resultat har publicerats medan det mer övergripande området långtidsbevarande av information, framförallt i digital form, har diskuterats och forskats om i stor omfattning under lång tid. (Bearman 1994; Duranti 2005). För att sätta undersökningen i ett arkivvetenskapligt sammanhang har forskning och projekt kring långtidsbevarande, särskilt gällande digital information, gått igenom för att placera behovet av framtagande av nya lagringsmedier och visa att just lagringsmedia är en av flera sammanhängande utmaningar för långtidsbevarande av stora informationsmängder.

För att hitta vetenskapliga artiklar relevanta för undersökningen så har jag sökt via lämpliga sökmotorer som Google Scholar, Söder Scholar och ScienceResearch.com. Då relevanta artiklar hittats har jag även gått igenom listorna på referenslitteratur och i förekommande fall var artiklarna använts som referenser för att försöka hitta mer närliggande forskningsresultat, dock med ganska magert resultat vilket kan förklaras med att forskningsområdet är relativt nytt. Sökord och begrepp jag använt mig av inbegriper ord och fraser som "information storage diamond", "NV center as data storage", "long-time information storage research" och även författarnamn.

För att undersöka forskningsläget kring lagring av information i defekter i diamant så är den artikel som publicerades av Dhomkar m fl i Science Advance i November 2016 ”Long-term data storage in diamond” den enda primära forskningsrapport jag hittat på området och därför vilar en stor del av detta arbete på den artikeln och diskussionen här styrs av de metoder och resultat som där framkommer. I vetenskapliga nyhetspublikationer som t ex Scientific American och Wired nämns tidigare forskning vilken lett fram till möjligheterna att styra och manipulera antal kväveatomer och egenskaper hos dem, djupare redogörelse för den forskningen faller utanför detta arbete då det skulle behövas långa naturvetenskapliga förklaringar utan synlig koppling till ambitioner att lagra information, särskilt ur ett långsiktigt perspektiv (Powell 2011; Matson 2012). En vetenskaplig artikel som ligger nära Dhomkar m fl är Deák m fl (2013) ”The formation of NV centers in diamond: A theoretical study based on calculated transitions and migration of nitrogen and vacancy related defects” vilken jag använt för att förklara vissa begrepp samt stödja påståenden hos Dhomkar m fl. Artikeln av Dhomkar m fl bygger alltså till viss del på resultat från andra forskare men är den första publicerade med uttalat intresse för långtidsbevarande av information även om den också går in på möjligheten att utnyttja tekniken för att skriva och radera information ur kortsiktiga behov.

Själv har jag under flera år arbetat som konsult inom ädelstensområdet och en stor del av det arbetet har varit identifiering och värdering av diamanter. Dessutom har jag skrivit en del artiklar i bransch och populärvetenskapliga publikationer samt hållit föredrag under mässor och konferenser, främst om diamanter ur olika historiska aspekter. Det är således min bakgrund som lett mig in på ämnesvalet för denna uppsats.

## 1.4 Tidigare forskning.

Det har som nämnts gjorts en hel del undersökningar kring långtidsbevarande av digital information ur arkivvetenskapliga vinklar. Av de tidigare nämnda projektens resulterande publikationer, dokument och rekommendationer kring digitalt långtidsbevarande kan från NEBLIS nämnas Hakolas ”Long term preservation of electronic documents” där författaren förordar migrering som metod (Hakola uå). Av dokument från LongRec kan nämnas (Luan m fl uå) som även de förordar migrering men också tar upp problematiken med lagringsutrymme när det gäller digitalisering och lagring av t ex ljud och filmer, kostnaderna för lagringsutrymme nämns som anledning till att den typen av material inte digitaliseras i samma omfattning i de digitaliseringsprojekt som genomförs för t ex böcker och fotosamlingar.

Gemensamt för de flesta projekt är att de förordar någon form av migrering som metod för långtidsbevarande samtidigt som de poängterar risken att information förändras eller förlorar sammanhang under processen. Emulgering diskuteras och förordas som metod av forskare kopplade till Koninklijke Bibliotheek i Nederländerna vilka även tagit fram en emulgeringsdator kallad Dioscuri (van der Hoeven m fl 2007).

En problematik som är kopplad till lagring av digitala format är hur autenticiteten upprätthålls. Factor m fl diskuterar saken i “Authenticity and Provenance in Long Term Digital Preservation: Modeling and Implementation in Preservation Aware Storage” och de framhåller behovet av forskning kring att ta fram ett “authenticity evaluation system”. (Factor m fl 2009) Ju färre konverteringar och överföringar information behöver utsättas för desto mindre är risken för att information förvanskas, medvetet eller omedvetet. En del i lösningen av det problemet är att hitta lämpligt lagringsmedia för att information inte ska behöva utsättas för de risker informationsflyttning innebär.

Det har publicerats rekommendationer om format, standarder och lagringsmedier för långtidsbevarande. Open Archival Information System, OAIS, är en modell för ramverk för hantering och lagring av digital information ur ett långtidsperspektiv (CCSDS 2012). OAIS har använts som grund för projekt syftande till digital data bevarande och standardisering av metadata (PREMIS 2017). I Sverige finns TAMs rekommendation TAM 5:2010 och Riksarkivets RAFS 2009:2 med föreskrifter och allmänna råd om tekniska krav för elektroniska handlingar vilka ligger i linje med rekommendationer från internationella organ, exempelvis ISOs standarder ISO 19005 rörande filformat för långtidsbevarande av elektroniska dokument, ISO 13008 om konvertering och migrering av digital verksamhetsinformation samt ISO 14641 som specificerar design och operabilitet hos system för bevarande av elektroniska handlingar.

Forskarteam i Schweiz, Storbritannien och USA har arbetat fram metoder att lagra information som kod i syntetiskt DNA och genom att med hjälp av laser manipulera antalet elektroner i kväverelaterade vakanser, NV center, i diamanter. Den första publiceringen om information lagrad som DNA gjordes 2012 och mer utvecklade försök presenterades 2015 (Church et al 2012, Grass et al 2015). I oktober 2016 publicerade forskning med lyckad datalagring i diamanter av ett forskarteam vid City University of New York något som det publicerats artiklar kring sedan åtminstone 2011. (Dhomkar m fl 2016; Powell 2011) Det har sedan många år pågått forskning kring nya medier och metoder att lagra stora mängder

information effektivt ur både kostnads, utrymmes och energi synpunkt och även med långtidsbevarande i åtanke. Det har experimenterats en hel del med klassiska DVD skivor vilka genom att använda olika material kunnat ges större lagringskapacitet. Ett effektivt exempel på hur detta lyckats är från Swinburne University i Australien där man genom att lagra informationen i nano stavar av guld i skivan lyckats öka lagringskapaciteten i en DVD skiva med över 2000 gånger. (Schoen uå) En brist med denna metod ur långtidslagrings synpunkt är dock att nano stavarna tenderar att formförändra sig efter en tid och därmed riskerar information att försvinna. (Dhomkar m fl 2016) Andra exempel på utveckling av DVD skivor och liknande är Sony och Panasonics Archive Disk, en variant av Blue-Ray, som kan lagra en terrabyte, och företaget M-Disk vars DVD belagd med ett minerallager menas ha en livslängd på 1000 år. Mindre traditionella former att lagra information forskas på av bland andra Hitachi och University of Southampton som har tagit fram metoder att lagra information i mineralet kvarts vilken får en potentiell livslängd på flera 100 miljoner år. Franska Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs, ANDRA projektet, har tagit fram en metod att lagra information om kärnavfallslager genom gravering av platina med safir vilken beräknas ha en livslängd av 1 miljon år (Ascent 2014). Dessa framsteg är intressanta och kan få betydelse för långtidsbevarande av olika slag men flera av metoderna är fortfarande beroende av hårdvara som inte har förväntad livslängd på mer än några årtionden medan andra av dessa metoder har mer gemensamt med runstenar än behoven att lagra dagens växande informationsmängd.

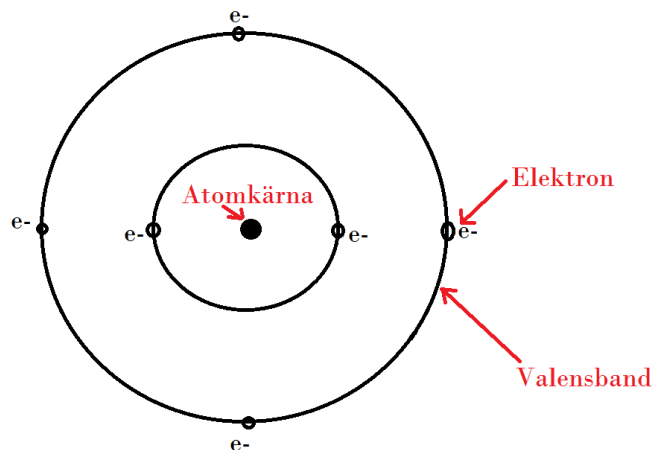
Forskning kring lagring av information på nya otraditionella vis förekommer som nämnts i många olika delar av världen och inom olika forskningsområden. Inom kvantfysiken så forskas kring att lagra information genom att hitta metoder att manipulera atomer eller molekyler så de motsvarar ettor och nollor vilket gör dem läsbara. 2012 publicerades forskning kring att lagra information i spår av vissa metalliska grundämnen i syntetiska granater (Kolesov m fl 2012). Även vakanser i strukturen hos kiselkarbid, ett hårt och stabilt mineral som består av kol och kisel, och joner hos en del andra grundämnen har uppmärksammats för möjligheten att lagra information (Seo m fl 2016). NV center i diamant kan även användas som kvantbitar i kvantdatorer, alltså användas på ett vis som motsvarar ettor och nollor i vanliga datorer men blir betydligt mer komplext och därmed snabbare och kan hantera större mängder information på kortare tid, något som i framtiden kan komma att få betydelse även för långtidbevaring av stora informationsmängder (Deák m fl 2013; Forsman 2016).

När det gäller tidigare forskning kring långtidsbevarande av digital information har det framförts åsikter kring att den ska ha varit för teknikfokuserad och inriktad på informationsanvändande inom relativt snar framtid (Runarsdottir 2007; Quisbert m.fl 2013). Något som ur mitt perspektiv kan bero på brister i förståelse av varandras terminologi arkivarier, systemvetare och IT-tekniker emellan och att begreppet långtidsbevarande inte har någon gemensam definition.

## 2 Undersökning.

### 2.1 Diamantens kemi och struktur

Diamant är ett mineral som består av grundämnet kol, kemisk beteckning C. För att bilda diamant så måste kolatomer bindas med varandra genom kovalenta bindningar vilket betyder att varje kolatom delar 4 elektroner med en angränsande kolatom. Det är den typen av bindningar mellan atomerna som ger diamant dess unika hårdhet. Ytterst få diamanter är helt fria från spår av andra ämnen och man delar in diamanter i olika grupper beroende på mängd och typ av spårämnen. Absolut vanligast är kväve, kemisk beteckning N, vilket förekommer i mätbar nivå i ca 98% av alla diamanter. De flesta diamanter har en mer eller mindre tydlig gul ton, något som orsakas av att kväve förekommer i strukturen. (Cunningham 2011 s 123-130.)

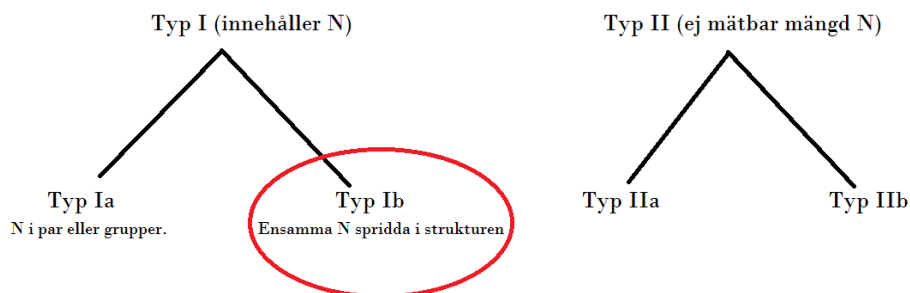


En kolatom består av en atomkärna som omges av 6 elektroner,  $e^-$ . Den första energinivån har bara plats för två  $e^-$  men den andra har plats för sammanlagt 8  $e^-$ . Det finns alltså plats för ytterligare fyra  $e^-$ . I diamantstrukturen delar kolatomerna sina  $e^-$  med varandra och på så vis blir valensbandet fullt. Denna typ av atombindning heter kovalent bindning och är förklaringen till diamantens hårdhet.

Typ I diamanter innehåller spår av kväve medan typ II diamanter har så lågt innehåll av kväve att det inte är mätbart. Mängden kväve mäts i ppm, parts per miljon. Typ I delas in i undergrupperna typ Ia och typ Ib. I typ Ib sitter enstaka kväveatomer spridda i strukturen

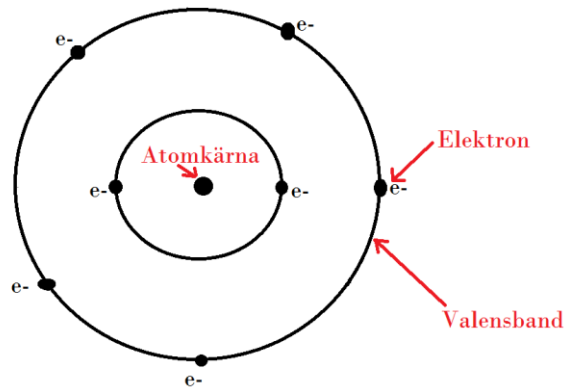
medan i typ Ia så sitter kväveatomerna i par eller grupper. Beroende på om kvävet sitter i par eller grupper så klassas diamanten in i undergrupperingarna typ IaA eller typ IaB. Många diamanter innehåller kväve i både par och grupper och kallas då typ IaAB. För lagring av information är det diamanter av typ Ib som är intressanta. Kvävet sitter i denna typ av diamanter som enskilda atomer spridda i kristallstrukturen. (Cunningham 2011 s 24-25; Dhomkar m fl 2016)

### Typindelning av Diamant

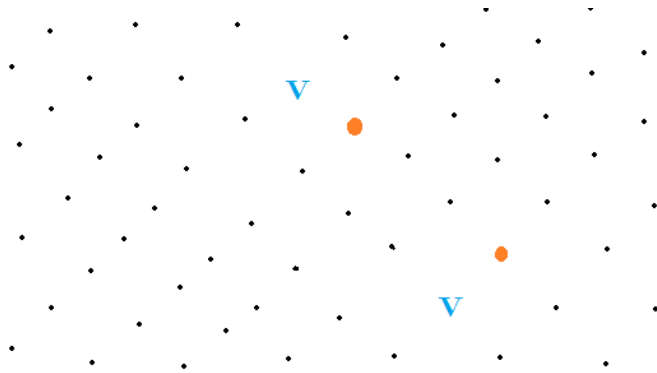


Det är typ Ib diamanter med enskilda kväveatomer spridda i strukturen som är intressant för forskning kring informationslagring.

Den forskning som pågår kring lagring av information i diamanter är fokuserad på när kväve förekommer som enskilda atomer spridda i diamanstrukturen tillsammans med vakanser, alltså platser i kristallstrukturen där det saknas en enskilda kolatom i anslutning till kväveatomen. Dessa förhållanden kallas NV center där NV står för Nitrogen Vacancy. Mer specifikt är det negativt laddade NV center, alltså NV center där det finns en elektron extra, som är av störst intresse för möjligheten att lagra information. Den extra elektronen kommer från kväveatomen som har sju elektroner, alltså en fler än de omgivande kolatomerna. Kolatomerna är i diamanter bundna med varandra genom kovalenta bindningar, de delar fyra elektroner med angränsande kolatomer och får därmed fyllda valensband. Det är detta förhållande som orsakar diamanterens hårdhet. När kväve förekommer i stället för kol så finns en elektron över. Finns kväveatomen intill en plats i strukturen där det saknas en atom så kommer den extra elektronen att hålla sig där och ett negativt laddat NV center uppstår. (Deák m fl 2013)



Kväveatomer har 7 e- varav fem i den andra energinivån. Detta gör att när Kväve binds till närliggande kolatomer så blir det en e- över. Finns ett tomrum, en Vacancy, intill N-atomer så kommer den extra e- att hamna där vilket gör att tomrummet får en negativ laddning.



NV center spridda i kristallstrukturen hos typ Ib diamant. De svarta prickarna symboliserar kolatomer, C, de orangea kväve, N, medan V står för Vacancy, alltså tomrum i strukturen. Om vakanser eller kväveatomer förekommer utan att gränsa till varandra så har de inte någon funktion för informationslagring

## 2.2 Ljus

Ljus är en form av energi och då energi tillförs elektroner i tillräckligt stor mängd hoppar de upp en energinivå till ett högre band. Detta tar sig olika uttryck men ofta ändrar ett material färg, det fluorescerar, om det utsätts för energirikt ljus och detta är något som används ofta vid undersökningar för att identifiera både diamanter och andra mineral. Olika material och ämnen reagerar olika mycket och med olika färg på ljusenergi och det krävs olika mycket energi för att få elektroner att hoppa upp en energinivå. I fallet med negativt laddade NV center så påverkar ljusenergin den extra elektronen så den faller helt utanför centret och därmed blir NV centret neutralt. Resultatet är att NV centrets ljusemission påverkas från ljus till att bli mörkt. Polariserering av ljus betyder att bara ljusvågor i samma riktning släpps igenom, ett vardagligt exempel där polariserering används är i polaroidglasögon. (Dhomkar m fl 2016; Read 2005 s 105-107, 127-128)

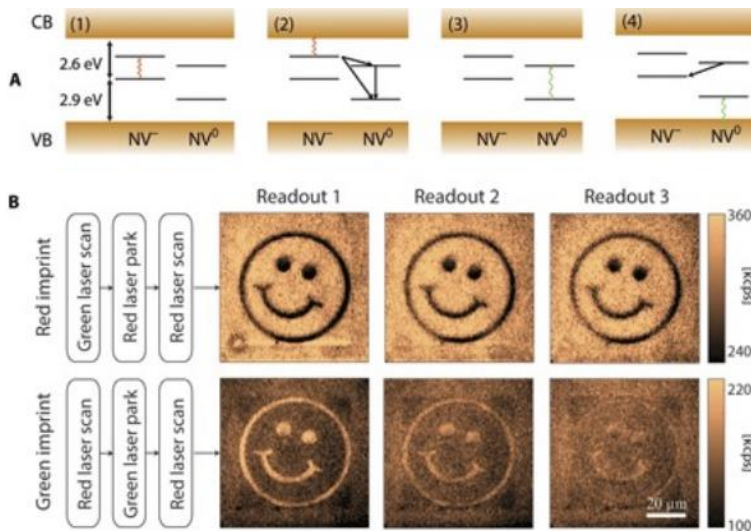
## 2.3 Hur information lagras i diamanter.

För att få tillgång till diamanter som har negativt laddade NV center så används syntetiska diamanter. Det finns inte några hinder från att använda tekniken på naturliga diamanter men skälet är att det är relativt lätt att tillverka diamanter på konstgjord väg och samtidigt kontrollera egenskaper och nivåer av spårämnen. Naturliga diamanter har sällan tillräckligt stor mängd NV center vilket medför att man ändå måste tillföra diamanten fler vakanser på konstgjord väg. Man tillför vakanser genom att bestråla diamanter och beroende på vilken typ av strålning som används så får man olika resultat. Med hjälp av värme får man sedan vakanserna och kväveatomerna att vandra genom strukturen för att tillslut para ihop sig med varandra (Déak m fl 2013). Man har alltså stor kontroll på utgångsmaterialet och kan tillföra den mängd kväve man vill ha utifrån föreliggande behov.

För att lagra information i NV centren har framförallt grön och röd laser använts. Grönt ljus med en våglängd av 532 nanometer gör negativa NV center neutrala genom att de absorberar två fotoner. Det gröna ljuset kan även återjonisera NV centret genom att tillföra en elektron. Rött ljus med en våglängd av 632 nanometer har tillräcklig energi för att förändra negativa NV center till neutrala men har för låg energi för att kunna förändra neutrala tillbaka till negativa. Genom tillämpning av ett polariseringsprotokoll så kan NV centrets rörelsemönster kontrolleras och hållas oförändrat under joniserings och återladdningssekvenserna (Dhomkar m fl 2016).

För att läsa informationen så skannas diamanten med hjälp av laser, antingen grön eller röd. Det ljus som används för att skanna och därmed avläsa informationen kan alltså ha samma våglängder som då man skriver in informationen men med lägre watt. Bilden nedan visar bilder där varje pixel motsvaras av ett NV center med olika laddning. Beroende på hur lång tid ett NV center utsätts för belysning så varierar kontrasten. Skillnaden i resultat beroende på om röd eller grön laser används är en invertering av kontrasten. Som synes har bilden som gjorts med grön laser en tydlig tendens att blekas efter flera avläsningar (Dhomkar m fl 2016).

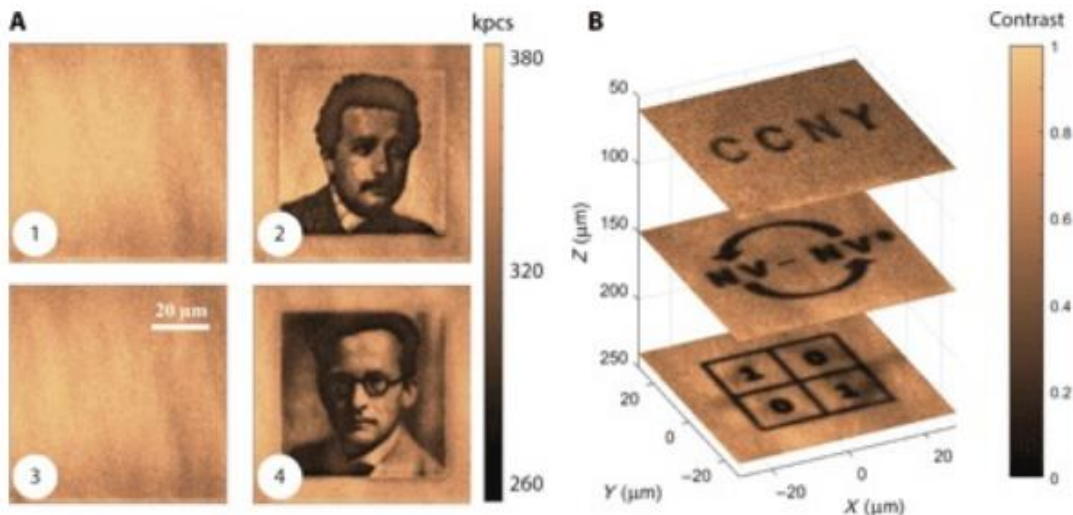




Bilden visar skillnader då grön eller röd laser används. Ett problem med tekniken är att NV-center kan byta laddning på grund av den energi som tillförs vid avläsning. (Dhomkar 2016).

## 2.4 Diamant som lagermedia av överskrivningsbar information.

Som överskrivningsbart lagringsmedia så börjar man med att skanna ytan med en grön laser, 1 mW och 1ms per pixel. Informationen skrivs in med röd laser med exponeringstid som varierar mellan 0-50 ms per pixel. Informationen avläses genom skanning med röd laser med 0,2 mW 1 ms per pixel. För att radera informationen används samma gröna laser som används för att ”nollställa” mediet innan första lagringen. Bilden A nedan visar först sekvenserna från ”nollställning” av ytan, efter att röd laser använts för att lagra information, radering och slutligen ny information skriven på samma plats. Bild B illustrerar den tre dimensionella kapaciteten, se nedan. Staplarna till höger visar kontrast vilken uppnås genom reglering av exponeringstid vid inskrivning med röd laser.



Diamant som överskrivningsbart lagringsmedia. Bild 1 är ytan efter en skanning med grön laser, bild 2 är skriven med röd laser. Tredje rutan visar ytan efter att informationen raderats med grön laser och slutligen har ny information skrivits in. (Dhomkar 2016)

Motiven i bild B ovan ligger ca 90 micrometer från varandra i djup och i och med att man i förväg bestämmer hur djupt man ska skriva information så går det att lägga till ny information i ett djupare eller tunnare plan utan att påverka information som redan finns. Teoretiskt behöver lager med olika information inte ligga med mer än några enstaka atomers avstånd utan att påverka varandra. I skrivande stund finns dock inte något lyckat exempel på det publicerat. (Dhomkar 2016)

## 2.5 Hur informationen avläses.

Den skrivna informationen kan avläsas med samma instrument som används för att skriva. Det är en anpassad variant av fluorescensmikroskop som används. I grunden ett ganska vanligt instrument inom naturvetenskaplig forskning där man tillsatt en helium-neon laser för våglängd 632 (röd) och en cw (continuous wave) solid state laser för 532 nanometer (grönt ljus). (Dhomkar 2016, RPMC uå)

För att få en uppfattning om hur tillgänglig nödvändig utrustning är och få fram ungefärliga kostnader för så har jag främst tittat på sortimenten hos Thorlabs och Spin Core Technologies. Thorlabs säljer helium-neonlasrar och 532nm solid state dioder och även den energikälla som behövs liksom den Avalanche photo detector som används för att avläsa fluorescens i intervallet 650-850 nm, allt är lagervara och kan beställas i webshop med leverans inom några dagar (Thorlabs). Den PulseBlaster ESR-PRO används av forskarna bakom studien kan köpas via Spin Core Technologies och för kontroll av NV center användes i studien 4 stycken olika

mikro och radiovågsgeneratorer. Tillbehör som olika filter, magneter, koppartråd mm behövs också men är varken svårt eller dyrt att få tag i.

Helium –Neon laser	7600 – 8160 kr
532nm solid state dioder	1385 – 1671 kr
Energikälla / driver	9960 – 11875 kr
Avalanche photodetector	10250 – 11025 kr
Pulse Blaster ESR-PRO	3985\$
Mikro och radiovågsgeneratorer upp till	ca 8000\$
Mikroskop	från 100 000 kr.

(ThorLabs uå, Spin Core Technologies uå)

Själva mikroskopet som används i studien är en egen konstruktion och liknande mikroskop kan kosta flera hundra tusen kronor men det har kommit alternativ på marknaden, t ex så har ICSPI en intressant variant för 7900 US dollar och Strømlingo erbjuder en byggsatsvariant för 2999 US dollar. (ICSPI uå; Strømlingo uå) Det är själva mikroskopet som är den kostsammaste delen av utrustningen och även den del som är svårast att hitta riktpriiser för. Övrig utrustning är ganska lätt att få tag på förutsatt att man är insatt i tekniken och hur utrustningen används.

## Problem och brister med tekniken

Diamanten måste lagras i mörker då ljusenergi riskerar att påverka laddningen hos centren. Tidsaspekten tycks inte ha någon betydelse för stabiliteten dock så påverkar den laser som skannar diamanten vid avläsning en liten del av NV centren vilket gör att informationen efter flera läsningar kan börja bli otydlig. (Dhomkar 2016 s 2)

Den tid det tar att lagra information är i dagsläget en millisekund per pixel vilket är för långsamt för verksamheter med stora lagringsbehov. En lösning är att höja ljusintensiteten vilket medför lägre precision och högre energiåtgång men hastigheten kan möjligen ökas vid användande av andra ljus och diskussion och experimenterande pågår kring blå laser men ännu finns inte några publicerade resultat kring jämförelser mellan en och två foton jonisering i typ Ib diamanter. (Dhomkar 2016 s 3)

## Avslutande diskussion

NV center i diamant har sedan några år uppmärksammats för möjligheten att lagra information, både sådan som behövs tillfälligt och för långtidslagring av stora informationsmängder. Det är syntetiska diamanter som används för ändamålet och dessa kan ges lämplig mängd kväve och vakanser genom olika typer av bestrålning och värmebehandling. Med hjälp av grön och röd laser kan man manipulera elektroner i NV center för att göra dem neutrala respektive negativt laddade. Negativt laddade NV center orsakar en ljus fluorescens medan neutrala ger mörk dito och varje NV center används alltså som en pixel. Beroende på intensiteten hos det ljus som används varierar kontrasten. Metoden att med laser av bestämda våglängder har möjligheten att i förväg bestämma exakt vilket djup i kristallstrukturen man vill lägga information, detta gör att information teoretiskt kan packas med bara något atomlagers mellanrum och avläsas eller tillföras information utan att närliggande information påverkas av den energi som krävs vid tillskrivning eller avläsning.

De forskningsresultat som framkommit kring möjligheten att lagra information genom kontrollerandet av laddningen hos NV center i diamant har potential att bli betydelsefulla för både kort och långtidslagring av stora informationsmängder. Tekniken är ännu i sin linda men resultaten är lovande. De brister som framkommit när det gäller den tid det tar att lagra informationen och risken för att information försvinner i samband med de skanningar som krävs för att läsa den borde gå att minska och forskning kring användandet av andra ljusintensiteter och våglängder pågår.

Olika ljusenergier ger något olika resultat och förutsättningar för långtidslagring. De experiment som pågått några år har i huvudsak använt sig av grönt ljus med våglängd 532 nanometer och rött ljus med 637 nanometer. Samma typ av ljus används för att både skriva och läsa informationen men med lägre watt då informationen avläses. Samma typ av fluorescensmikroskop försett med 637 och 532 nanometer laser kan användas för att både skriva och avläsa information, det exemplar som använts i den forskning som här använts som huvudsaklig källa är byggt specifikt för denna forskning. Det är ur användarperspektiv en fördel att samma teknik kan användas.

Att den utrustning som behövs för att skriva och läsa information i diamanter finns tillgänglig och är enkel att köpa in är en fördel men det ställs samtidigt väldigt höga krav på specialiserade kunskaper hos användarna vilket gör att det kommer ta tid innan tekniken blir

mer allmän. Börjar det finnas efterfrågan på lagringsmedia i form av NV center i diamant så finns dock förutsättningarna för att det på ganska kort tid kan tas fram både användarvänligare och billigare utrustning för att både skriva och läsa informationen.

Jämför man forskningen kring informationslagring i diamanter med annan forskning kring informationslagring i icke traditionella media så är det försöken med informationslagring i syntetiskt DNA som kommit längst och där finns även exempel på kommersiell verksamhet som använder sig av tekniken. Det är dock något olika områden man riktar sig till. Forskningen kring NV center i diamant och till exempel joner hos sällsynta jordartsmetaller eller vakanser i kiselkarbid har sitt ursprung i kvantfysikens behov av stora informationsmängder medan forskningen kring syntetiskt DNA tycks ha en mer övergripande ambition att lösa problematiken med att lagra all information som genereras.

Båda teknikerna DNA och diamanter är nya forskningsområden och har långt kvar innan de blir var mans egendom men jämför man hur resultaten ser ut så kan man se en viss skillnad i vilken typ av information som kan tänkas komma att användas viken teknik. DNA tekniken har kommit längre när det gäller information som ska bevaras på lång sikt medan NV center i diamant i nuläget mer verkar lämpa sig för information som används aktivt och där behov finns att löpande tillföra och radera information.

Fortsatt forskning är nödvändigt för att tekniken ska bli praktiskt tillämpbar, både snabbare och mer hållbar vid avläsning. Känsligheten mot ljus är enkel att avhjälpa genom att placera diamantern i ett skyddande fodral av något slag som passar i de instrument som används vid lagring och läsning av informationen. Tekniken att avläsa och skriva information behöver utvecklas och anpassas till användarna så den kan användas utan att ställa krav på specialistkunskaper. Intressant vore även om metoden att använda NV center som pixlar kunde kombineras med närliggande forskning kring att manipulera laddning hos atomer och andra defekter för att skapa kvantbitar och även användas som ettor och nollor i traditionell form för datalagring.

## Sammanfattning

De inledande frågeställningarna i denna undersökning var: Hur ser forskningen ut kring lagring av information i kontrollerade defekter i strukturen hos diamant? Kan tekniken vara relevant för långtidsbevarande av information? Samt hur fungerar tekniken praktiskt?

Forskningen har kommit så långt att den visar konkreta resultat men ännu återstår en hel del forskning innan tekniken kan få praktisk betydelse för långtidsbevarande av stora informationsmängder. I nuläget är den tid det tar att skriva information, ca 1 millisekund per pixel, långsam jämfört med andra lagringsmedia men forskning pågår kring att öka skrivhastigheten. Idag går det att skriva fortare genom att öka ljusintensiteten men det medför sämre precision och därmed större volym per bit. Även energiåtgången blir större per bit och detta är något som det forskas kring bland annat genom att undersöka andra våglängder och användandet av t ex blå laser för att skriva informationen. En annan brist är att då informationen läses görs en skanning med röd eller grön laser vilken visserligen har betydligt lägre watt än vid skrivande men ändå efter några läsningar påverkar laddningen hos ett antal NV center genom att excitera elektroner så de faller utanför det specifika NV centret och gör det neutralt. Detta kan jämföras med hur bläck på papper kan blekas. Information som skrivs och läses med röd laser tycks ha bättre motståndskraft mot denna typ av blekning.

All utrustning som behövs för att läsa information finns enkelt tillgänglig och kan beställas via butiker online med snabb leverans. Investeringar i utrustning för en knapp miljon behöver göras men tekniken ställer i nuläget även väldigt stora krav på kunskaper hos användarna. Forskningen kring NV center i diamant, liksom den om informationsbevarande i form av syntetiskt DNA och även kring utvecklandet av traditionella lagringsmedia, borde vara av stort intresse för de som arbetar med planering för att tillvarata och bevara stora informationsmängder skapade både inom slutna organisationer och mer gränslös information skapad av flera oberoende parter i olika former kopplade till internet. En problematik som diskuterats ingående sedan åtminstone 1989 då Pittsburgh projektet publicerade sina första dokument kring problematik med bevarande av information skapad i nätverk av datorer.

# Käll- och litteraturförteckning

Utan angiven författare:

Ascent (2014), <https://atos.net/content/dam/global/ascent-whitepapers/ascent-whitepaper-digital-preservation-in-the-age-of-cloud-and-big-data.pdf> hämtad 14/5 2017.

CCSDS (2012), <https://public.ccsds.org/pubs/650x0m2.pdf> [hämtad 18/5-2017]

CORDIS (uå), [http://cordis.europa.eu/project/rcn/43331\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/43331_en.html), tillgänglig 23/5 2017.

Gubelin [www.gubelin.com/en/gemmology/gemlab/provenanceproof](http://www.gubelin.com/en/gemmology/gemlab/provenanceproof), tillgänglig 13/5 2017.

ICSPI (uå) <http://www.icspicorp.com/> tillgänglig 24/5 2017.

LongRec (2010) [http://research.dnv.com/LongRec/2010\\_LongRec.pdf](http://research.dnv.com/LongRec/2010_LongRec.pdf) [Hämtad 23/5 2017]

Nationalencyklopedin, 1989-1996, Höganäs.

PREMIS (2017), <http://www.loc.gov/standards/premis/> tillgänglig 18/5-2017.

RA-FS 2009:2 – Riksarkivets föreskrifter och allmänna råd om tekniska krav för elektroniska handlingar (upptagningar för automatiserad behandling)

RPMC (uå), [www.rpmclasers.com](http://www.rpmclasers.com)

TAM 5:2010, Rekommendation – format för långtidslagring, version 1.0, TAM-Arkiv, 2010-03-11. [http://www.tam-arkiv.se/sites/default/files/documents/tam\\_rekommendationer/TAM52010\\_FormatLangtidslagring\\_1\\_0.pdf](http://www.tam-arkiv.se/sites/default/files/documents/tam_rekommendationer/TAM52010_FormatLangtidslagring_1_0.pdf) [Hämtad 27/4 2017]

TAM52010\_FormatLangtidslagring\_1\_0.pdf [Hämtad 27/4 2017]

Thorlabs (uå), [www.thorlabs.com](http://www.thorlabs.com) tillgänglig 18/5 2017.

School of Information Sciences, (2002), Functional Requirements for Evidence in

Recordkeeping: The Pittsburgh Project <http://www.archimuse.com/papers/nhprc/>

Återskapad hemsida 2002. . [Hämtad 13/5 2017]

Spin Core Technologies (uå) <http://www.spincore.com/> tillgänglig 24/5-2017

Strømtingo (uå), [www.stromlinet-nano.com](http://www.stromlinet-nano.com) tillgänglig 18/5 2017.

USCD (uå) [http://studentresearch.ucsd.edu/\\_files/assessment/Assessment-Methods.pdf](http://studentresearch.ucsd.edu/_files/assessment/Assessment-Methods.pdf) [Hämtad 24/5-2017]

Med angiven författare:

Asproth, V, (2007) “*Integrated Information Systems – A Challenge for Long-Term Digital Preservation*”, Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management Volume 2, 2007. <http://ijikm.org/Volume2/IJIKMv2p089-098Asproth233.pdf> [Hämtad 20/5-2017]

Bearman, D. (1994). *Electronic Evidence, Strategies for Managing Records in Contemporary Organizations*. Pittsburgh, Archives & Museum Informatics.

- <https://pdfs.semanticscholar.org/a600/0229f82c47921a565e37ce6ef3f9f17d111c.pdf>  
[Hämtad 24/5 2017]
- Bowen (2009) "Document Analysis as a Qualitative Research Method", *Qualitative Research Journal*, Vol. 9 Issue:2, pp.27-40, doi: 10.3316/QRJ0902027  
<http://www.emeraldinsight.com/till.biblextern.sh.se/doi/pdfplus/10.3316/QRJ0902027>  
[Hämtad 24/5 2017]
- Church, Georg. Gao, Yuan. Kosuri, Sriram (2012) *Next Generation digital storage in DNA*, *Science*, Vol 337, 28 SEPTEMBER 2012  
<http://science.sciencemag.org/content/337/6102/1628?sid=48df41f3-c78d-4703-aad9-0890b27b85a8> [Hämtad 3/5 2017]
- Cunningham, Dee Dee, (2011) *The Diamond Compendium*. London.
- Dhomkar, S, m.fl. (2016) *Long-term data storage in diamond*. *Sci. Adv.* 2, e1600911.
- Deák m fl (2013) *The formation of NV centers in diamond: A theoretical study based on calculated transitions and migration of nitrogen and vacancy related defects*.  
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1311/1311.6598.pdf> [Hämtad 22/5-2017]
- Duranti, L, (u.å.) *Welcome message from Project Director, Dr. Luciana Duranti*,  
[http://www.interpares.org/ip\\_director\\_welcome.cfm](http://www.interpares.org/ip_director_welcome.cfm) [Hämtad 22/5-2017]
- Duranti, L., "The long-term preservation of accurate and authentic digital data: the *InterPARES project*", *Data Science Journal*, 2005, Vol.4, pp.106-118.
- Exctance, Andy (2016) *How DNA could store all the world's data* :  
<http://www.nature.com/news/how-dna-could-store-all-the-world-s-data-1.20496> [Hämtad 8/5-2017].
- Factor, M m.fl. (2009) "Authenticity and Provenance in Long Term Digital Preservation: Modeling and Implementation in Preservation Aware Storage"  
[https://www.usenix.org/legacy/event/tapp09/tech/full\\_papers/factor/factor.pdf](https://www.usenix.org/legacy/event/tapp09/tech/full_papers/factor/factor.pdf) [Hämtad 23/5-2017]
- Forsman, Björn (2016) *Det här är en kvantdator*.  
<https://www.chalmers.se/sv/institutioner/mc2/nyheter/Sidor/Det-har-ar-en-kvantdator.aspx>  
[Hämtad 15/5 2017]
- Grass, R, m.fl. (2015) *Robust Chemical Preservation of Digital Information on DNA in Silica with Error-Correcting Codes* *Angew. Chem. Int. Ed.* 2015 , 54, 2552 –2555
- Hakala, Juha (uå) *Long-term preservation of electronic documents*,  
[http://cordis.europa.eu/pub/cris2000/docs/hakala\\_fulltext.pdf](http://cordis.europa.eu/pub/cris2000/docs/hakala_fulltext.pdf) [Hämtad 18/5 2017]



- Kolesov, R. m.fl. (2012) *Optical detection of a single rare-earth ion in a crystal*. Nat. Commun. 3:1029 doi: 10.1038/ncomms2034 (2012).  
<http://www.nature.com/articles/ncomms2034>
- Luan, F, m.fl. (UÅ) *The Challenges of Migration as a Long - term Preservation Strategy: The Findings of TEAM Norway and LongRec*.  
<https://research.idi.ntnu.no/longrec/papers/IPP2009.pdf> [Hämtad] 13/5-2017.
- Matson, John (2012) *Storage Record, Researchers show how to store quantum bits at room temperature using a less complex process for seconds at a time*.  
<https://www.scientificamerican.com/article/diamond-qubits/> [Hämtad 8/5-2017]
- Powell, Devin (2011) *Flawed Diamonds Could Store Quantum Data*.  
<https://www.wired.com/2011/03/quantum-diamonds/> [Hämtad 8/5-2017]
- Quisbert, Hugo, Korenkova, Margarita, Hägerfors, Ann (2013) *Towards a Definition of Digital Information Preservation Object*.  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=44515FAA6DC8474DA42CC484F74F0FD5?doi=10.1.1.124.3309&rep=rep1&type=pdf>
- Read, Peter, (2005) *Gemmology*, third edition, Oxford / Burlington.
- Runardotter, M., Mirijamdotter, A and Mörtberg, C. (2007). *Being An Archivist in our Times - Trying to Manage Long-term Digital Preservation*.
- Samuelsson, G., Öberg, L-M., Borglund, E. (u.å). *Long-term Preservation of Complex and Integrated E-Services*. <https://www.miun.se/siteassets/forskning/center-och-institut/cedif/bygga-villa/56-e-services-and-long-term-preservation-last-version.pdf>  
 [Hämtad 18/5-2017]
- Simonsson, C., Hjorth, M., Sandberg, H., & Thelander, Å. (1998). *Möten på fältet. Kvalitativ metod i teori och praktik*. (Working Paper; Vol. 1998:1). Department of Sociology, Lund University. <http://portal.research.lu.se/ws/files/5853683/632914.pdf> [Hämtad 19/5-2017]
- Schoen, Christian, (uå) *Gold Nanostructures: Properties and Applications*  
<http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/materials-science/nanomaterials/gold-nanostructures.html> [Hämtad 8/5-2017]
- Seo, H, m.fl. (2016) *Quantum decoherence dynamics of divacancy spins in silicon carbide*,  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5056425/> [Hämtad 8/5 2017]
- Van der Hoeven, J., Lohman, B. and Verdegem, R. (2007). *Emulation for Digital Preservation in Practice The Results*. International Journal of Digital Curation Vol. 2 (No. 2,) pp. 123-132.